

## **Impacts D'une Technique De Restauration De Terre Dégradée Sur La Survie Et La Croissance Des Plants De Quatre Espèces De Combretaceae En Zone Sahélienne Du Niger**

**Amani Abdou,**

**Ichaou Aboubacar,**

Département Gestion des Ressources Naturelles, Institut National de la  
Recherche Agronomique du Niger (INRAN), Niamey, Niger

**Karim Saley,**

Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques  
Université Dan Dicko Dan Koulodo de Maradi Niger

**Mahamane Ali, Professeur titulaire**

Université de Diffa, Niger

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p134](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p134)

Submitted: 17 September 2021

Accepted: 07 December 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Abdou A., Aboubacar I., Saley K., & Ali M., (2021). *Impacts D'une Technique De Restauration De Terre Dégradée Sur La Survie Et La Croissance Des Plants De Quatre Espèces De Combretaceae En Zone Sahélienne Du Niger* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 134.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p134>

### **Résumé**

Les banquettes sylvopastorales constituent l'une des techniques les plus utilisées au Niger pour restaurer les terres dégradées de plateaux. La présente expérimentation a été réalisée sur un plateau dégradé de Simiri dans l'Ouest nigérien où des banquettes sylvopastorales ont été installées. L'objectif est d'évaluer la survie et la croissance des plants de quatre essences locales de Combretaceae, *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans* et *Guiera senegalensis*. Les méthodes utilisées ont consisté d'abord à délimiter un espace sur le plateau dégradé où 40 banquettes sont confectionnées et un autre espace sans banquette pour servir de témoin. Dans les banquettes, 200 plants de chaque espèce ont été plantés à raison de 20 plants/banquette. Deux mois après la plantation un suivi périodique de l'humidité du sol et des paramètres dendrométriques des plants a été effectué

durant 30 mois. Les paramètres dendrométriques mesurés sont le taux de survie, la hauteur et le diamètre au collet du grand axe caulinaire, le nombre de rejets et de feuilles. Les résultats obtenus ont montré d'une part que les banquettes améliorent les conditions hydriques du sol de 18,19 % par rapport à la zone non traitée (sans banquette) et d'autre part que les meilleurs taux de survie et de croissance ont été observés au niveau des espèces *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum* et *Combretum micranthum*. Ainsi, les espèces *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum* et *Combretum micranthum* peuvent être utilisées dans le reboisement de sites aménagés avec des banquettes sylvopastorales pour restaurer les terres de plateaux au Niger.

---

**Mots clés :** Combretaceae, Croissance, Restauration, Banquettes, Simiri.

## **Impacts Of A Degraded Land Restoration Technique On The Survival And Growth Of Four Plants Combretaceae Species In The Sahelian Zone Of Niger**

*Amani Abdou,  
Ichaou Aboubacar,*

Département Gestion des Ressources Naturelles, Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), Niamey, Niger

*Karim Saley,*

Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques  
Université Dan Dicko Dan Koulodo de Maradi Niger

*Mahamane Ali, Professeur titulaire*

Université de Diffa, Niger

---

### **Abstract**

Silvopastoral banquettes are one of the techniques mostly used in Niger to restore degraded plateau lands. The present experiment was carried out on a degraded Simiri plateau in western Niger where silvopastoral banquettes have been installed. The objective is to assess the survival and growth of plants of four local species of Combretaceae, *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, and *Guiera senegalensis*. The methods used consisted first of delimiting a space on the degraded plateau where 40 banquettes are made and another space without a banquette to serve as a control zone. In the banquettes, 200 plants of each species were planted at 20 plants/banquette. Two months after planting, periodic monitoring of soil moisture and dendrometric parameters of the plants was carried out for 30 months. The dendrometric parameters measured are the

survival rate, the height and the collar diameter of the stem axis, the number of suckers and leaves. The results obtained showed on the one hand that the banquettes improve the water conditions of the soil by 18.19% compared to the untreated zone (without banquettes) and on the other hand that the best survival and growth rates were observed at the level of the species *Guiera senegalensis*, *Combretum. glutinosum* and *Combretum. micranthum*. Thus, *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*, and *Combretum micranthum* species can be used in the reforestation of sites developed with silvopastoral banquettes to restore plateau lands in Niger.

---

**Keywords:** Combretaceae, Growth, Restoration, Banquettes, Simiri

## Introduction

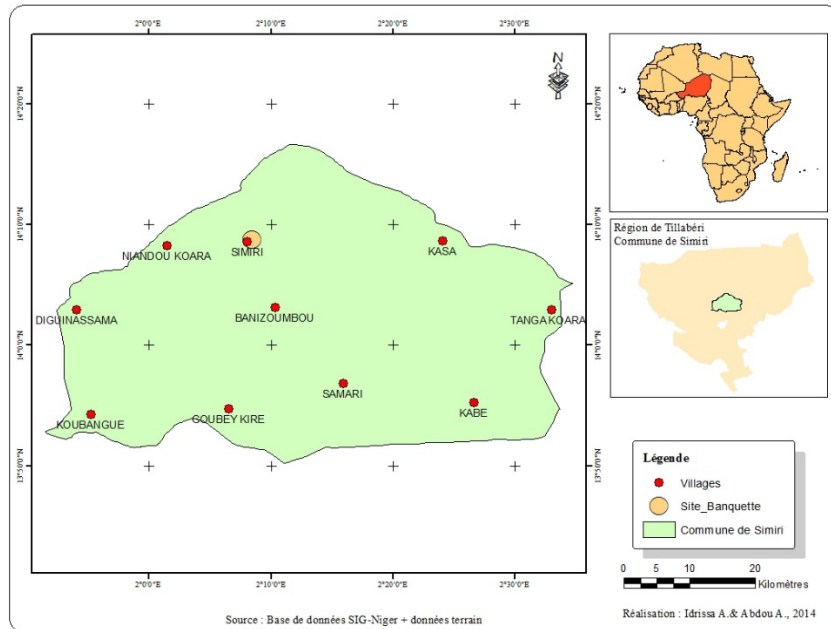
L'homme tente de maintenir les potentialités du milieu qu'il exploite, en luttant contre sa dégradation. Le maintien et la restauration de la fertilité des sols, la lutte contre l'érosion, contre l'ensablement et la disparition du couvert végétal ou les tentatives pour lutter contre l'aridité en sont des exemples (Aronson *et al.*, 1995). Les techniques les plus utilisées sont celles de conservation des eaux et du sol (CES) et de défense et restauration de sol (DRS). Il s'agit des ouvrages mécaniques tels que les banquettes sur plateau qui sont couramment rencontrées au Niger. Mais la lutte antiérosive pour être efficace doit combiner les approches mécaniques et biologiques complémentaires (Roose, 2004). La plantation des ligneux pérennes est l'une des approches biologiques associées aux ouvrages. En effet, la plantation accélère la reconstitution de la biodiversité, de la fertilité du sol et de la réhabilitation des habitats naturels, tout en constituant des puits de séquestration du carbone (Montagnini *et al.*, 2005). Ainsi, dans cette double approche, la plante ligneuse occupe une place importante et doit jouer un rôle d'autant plus déterminant si elle est choisie judicieusement. Cependant, beaucoup de reboisements ont été effectués avec des espèces exotiques auxquelles on attribue à tort ou à raison l'avantage d'avoir une croissance rapide en occultant la question relative à leur adaptation durable au milieu. Pourtant, après une analyse de 16 cas en milieux semi-arides tropicaux et méditerranéens, il ressort que pour réussir une restauration rapide des terres dégradées, il faut, en dehors des considérations foncières, respecter six règles dont le choix des plantes adaptées localement mais non invasives (Roose *et al.*, 2011). Ainsi, dans le cadre d'une série d'investigation sur l'aptitude des espèces locales à restaurer les terres dégradées, 4 espèces de Combretaceae (*Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans* et *Guiera senegalensis*) ont été testées.

L'objectif principal de cette expérimentation est d'évaluer la survie et la croissance de 4 espèces plantées sur un site aménagé avec des banquettes sylvopastorales dans les conditions sahéliennes.

## Matériel et méthodes

### Site d'étude et technique de restauration

L'expérimentation s'est déroulée dans la commune rurale de Simiri dans l'Ouest nigérien sur un site de plateau situé à 2 km à l'est du village de Simiri (figure 1)

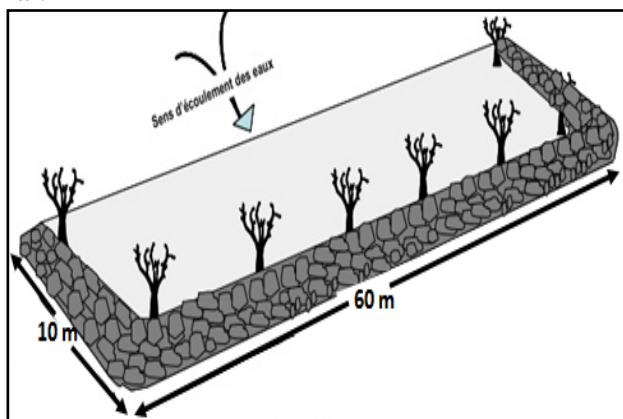


**Figure 1 :** Localisation de la commune de Simiri et du site de restauration

Le site de plateau (14°08'45,2'' de latitude Nord et 2°08' 27,2'' de longitude Est) est un terrain quasi plat de 6,6 ha, caractérisé par une dominance des croûtes gravillonnaires et des croûtes d'érosion. Le sol, de type ferrugineux tropical non ou peu lessivé, est peu profond (profondeur 50 à 60 cm). Il appartient à la catégorie des sols squelettiques de types régosols et lithosols formés sur grès argileux du continental (Ambouta, 1997). Le ruissellement est diffus avec un drainage modéré.

Pour restaurer ce terrain, la technique d'aménagement utilisée a consisté à la confection de 40 banquettes en avril 2011. Une banquette est un ouvrage en terre, en pierres ou mixte, en forme de diguette antiérosive, réalisée selon les courbes de niveau et de façon perpendiculaire à la pente principale (PAC, 2006). Elle se compose d'un bourrelet à l'aval et d'un fossé à l'amont dans lequel sont implantées des espèces végétales (figure 2). Les banquettes sont disposées en quinconce avec les normes techniques suivantes : une longueur

totale de 80 m ; une profondeur de la cuvette variant de 40 cm à 60 cm ; un écartement entre deux ailes de deux banquettes successives de 10 m sur une ligne. L'écartement entre deux lignes est de 25 à 30 m pour une densité de 6 banquettes par ha. Les banquettes ont pour rôle de capter l'eau de ruissellement et d'améliorer son infiltration dans le sol. Elles permettent donc d'accroître le rendement sylvopastoral.



A

B

**Figure 2 :** Photo d'une banquette sylvopastorale sur site de plateau (A) avec illustration de ses dimensions (B)

Le dispositif était un plan expérimental entièrement randomisé (PER) constitué de 4 traitements en 10 répétitions. Le traitement est formé par 20 plants de chacune de 4 espèces (*C. glutinosum*, *C. micranthum*, *C. nigricans* et *G. senegalensis*). Il est planté dans chaque banquette 20 plants selon un écartement de 4 m. Ainsi, 800 plants des 4 espèces de Combretaceae soit 200 plants par espèce ont été suivis. Le site a été mis en défens au moyen d'une clôture en fils barbelés. A la proximité immédiate de ce site, un espace de même superficie mais non clôturé et non traité a été considéré comme site témoin.

### Choix des espèces plantées

Quatre espèces locales ont été retenues de concert avec la population locale de Simiri : *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans* et *Guiera senegalensis*. Le choix de ces espèces se justifie par des raisons écologiques et socioéconomiques. Sur le plan écologique ces 4 espèces étaient dominantes au niveau de la végétation de cette commune et seraient donc plus indiquées pour la restauration de ce site. Sur le plan socioéconomique, plusieurs références notamment Mahamane *et*

al (2009) et Ichaou (2000) ont souligné leur utilisation dans l'agroforesterie, l'alimentation du bétail, la médecine traditionnelle et dans l'énergie domestique.

## Plantation

La plantation s'est déroulée le 18 août 2011 avec des plants dont les paramètres dendrométriques (tableau 1) régulièrement mesurés en pépinière étaient connues ce qui a permis le suivi des paramètres de croissance en milieu réel.

**Tableau 1** : Paramètres dendrométriques moyens des plants cinq jours avant la plantation

Espèces	Hauteur moyenne (cm)	Diamètre moyen (mm)	Biomasse foliaire moyenne (g de MS par plant)
<i>Combretum glutinosum</i>	7,71 ± 2,94	2,79 ± 0,46	5,79 ± 1,51
<i>Combretum micranthum</i>	17,37 ± 6,05	2,81 ± 0,41	2,79 ± 0,93
<i>Combretum nigricans</i>	18,06 ± 5,84	2,68 ± 0,46	2,45 ± 0,58
<i>Guiera senegalensis</i>	25,8 ± 0,81	3,22 ± 0,7	5,59 ± 1,53

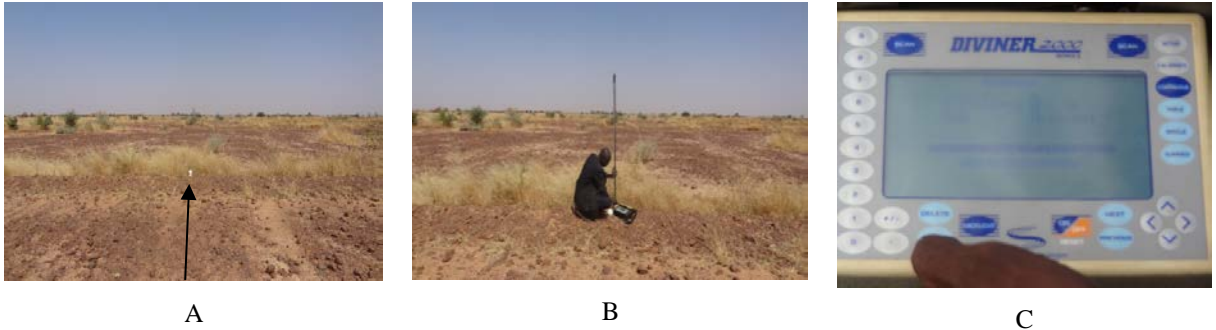
MS : matière sèche

## Suivi de la dynamique de l'eau du sol, des paramètres dendrométriques des espèces plantées

Compte tenu de l'importance de l'humidité du sol sur la croissance des plantes, un suivi régulier de ce paramètre a été effectué sur les deux sites au moyen de la sonde « DIVINER 2000 ». Pour ce faire, il a été installé un tube d'accès compatible au « DIVINER 2000 » au niveau d'un ouvrage par site. Il a également été installé les mêmes tubes de mesures dans les zones témoins.

La sonde DIVINER 2000 mesure l'humidité volumique sur chaque 10 cm de profondeur jusqu'à une profondeur maximale de 160 cm. Pour chaque niveau de profondeur, l'appareil effectue deux mesures ce qui permet de calculer la moyenne arithmétique par niveau. Le stock hydrique est obtenu en cumulant les valeurs d'humidité mesurées de 10 en 10 cm. Le tube était installé au milieu de la banquette (figure 3) à une profondeur de 100 cm (y compris la hauteur de la digue) dans le fossé, le long de la ligne des trous de plantation.

Une sonde à neutron/gamma densimètre de marque CPN 501 a également été utilisée une seule fois (le 19 octobre 2011) pour mesurer la densité apparente du sol des sites de restauration et de leurs témoins. Cette sonde utilise les mêmes tubes d'accès que la sonde Diviner 2000 mais effectue les mesures de densité de 30 cm en 30 cm d'épaisseur



**Figure 3 :** Dispositif de suivi de l'humidité du sol sur les sites de restauration

A : Tube implanté dans une banquette ; B : Mesure de l'humidité du sol avec la sonde DIVINER 2000 ; C : Console de la sonde DIVINER 2000 (Photo : Amani A. 2013)

Les mesures de l'humidité du sol sur les sites de restauration et leurs témoins ont commencé deux mois après la plantation et ont duré 30 mois (d'octobre 2011 à mars 2014). La périodicité de ces mesures est mensuelle pendant la saison sèche et décadaire pendant la saison des pluies. La pluviométrie a été suivie durant toute la période au moyen d'un pluviomètre installé à environ 500 m du site.

Les mesures dendrométriques ont débuté au même moment que celles de l'humidité soit deux mois après la plantation. Les paramètres mesurés sont le taux de survie, la hauteur et le diamètre au collet du grand axe caulinaire, le nombre de rejets et le nombre de feuilles. Le taux de survie est défini par le pourcentage de plants vivants à la fin de la première saison sèche suivant la plantation et aussi à la fin des saisons sèches suivantes.

Le nombre de feuilles comptées a été converti en biomasse sèche au moyen du rapport masse sèche sur masse fraîche issu d'un échantillon foliaire de chaque espèce, prélevé sur site à cet effet. Le séchage a été effectué à l'étuve à 70 °C jusqu'à la stabilisation de la masse sèche. Des accroissements courants mensuels et annuels, des accroissements moyens mensuels et annuels ont été calculés sur les hauteurs et diamètres afin d'identifier les périodes favorables de la croissance. Les concepts d'accroissement sont définis par Rondeux (1999) ainsi qu'il suit : (i) l'accroissement est la quantité de matière élaborée par unité de temps. Il correspond à la différence entre deux valeurs prises par une variable dendrométrique donnée à des âges déterminés ; (ii) l'accroissement moyen annuel équivaut à l'accroissement total divisé par l'âge ou à la moyenne d'accroissements instantanés annuels ; (iii) l'accroissement courant annuel est l'accroissement qui se produit dans le courant d'une année. C'est en d'autres termes la moyenne annuelle de l'accroissement au cours d'une période de quelques années précédant le moment de la mesure.

Les mesures de hauteur ont été effectuées à l'aide d'un ruban métrique (3 m). Les diamètres au collet ont été mesurés au moyen d'un pied à coulisse (150 mm). Afin de limiter les biais dans les mesures, les collets ont été préalablement marqués au moyen d'une peinture indélébile. Cette dernière permet de garantir la mesure au même endroit (collet).

La périodicité des mesures était mensuelle au cours de la première campagne (d'octobre 2011 à octobre 2012). Elle a été réajustée par la suite pour être mensuelle pendant la saison des pluies et bimestrielle (tous les deux mois) pendant la saison sèche. Ce réajustement est dû au fait que la variation mensuelle des paramètres dendrométriques constatée pendant la saison sèche de la première campagne est très faible voire nulle.

### **Analyse statistique des données**

Le traitement et l'analyse statistique des données ont été réalisés au moyen de deux logiciels JMP 9.00 et logiciel R (R development Core T., 2010). La comparaison des moyennes a été réalisée au seuil de signification de 5 % de l'analyse des variances (ANOVA) et du test de Kruskal- Wallis. Une comparaison post hoc par le test de T de Student pour ANOVA et celui de Wilcoxon pour le test de Kruskal-Wallis ont été utilisés pour classer les moyennes.

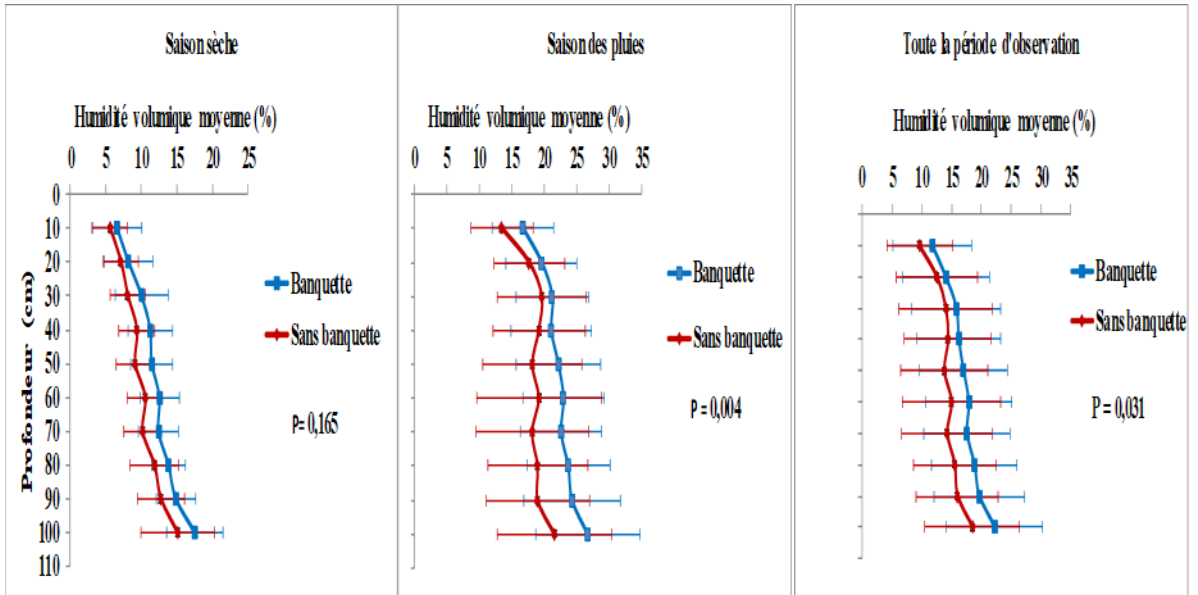
## **Résultats**

### **Dynamique de l'eau sur le site de restauration**

En saison sèche, l'évolution de l'humidité volumique (figure 4) sur le site de banquettes a montré qu'en profondeur il n'y avait pas de différence significative ( $P = 0,165$ ) entre la zone témoin ( $9,95 \pm 2,78$  %) et la zone en restauration ( $11,88 \pm 3,17$  %). Par contre, il a été enregistré une différence très significative ( $P = 0,004$ ) entre l'humidité de la zone en restauration ( $21,99 \pm 2,66$  %) et celle de la zone témoin ( $18,52 \pm 2,06$  %) en saison des pluies. En considérant toute la période d'observation, la différence est également significative ( $P = 0,031$ ) entre les deux moyennes ( $17,25 \pm 6,84$  % pour le site de restauration et  $13,86 \pm 6,16$  % pour le témoin). Aussi bien sur le site de banquettes que sur la zone témoin, les valeurs de l'humidité ont augmenté régulièrement de la surface en profondeur. Les valeurs minimales ont été enregistrées à 10 cm et les maximales à 100 cm.

La densité apparente moyenne du sol sur le site de banquettes sur plateau était de  $1,41 \pm 0,09$ . Celle de son témoin était de  $1,46 \pm 0,12$ .

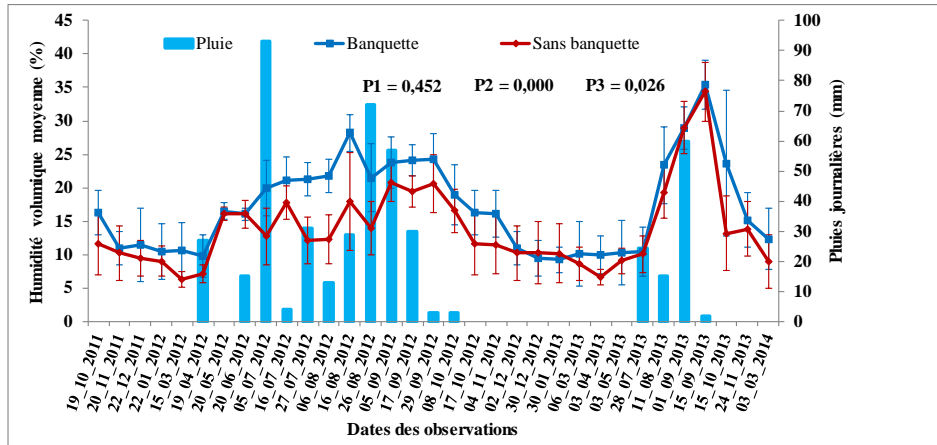




**Figure 4 :** Comparaison de l'humidité volumique moyenne du sol en profondeur sur le site de banquettes

Les valeurs de p mentionnées sont les p-value obtenues à l'issue de Wilcoxon et les barres d'erreurs sont des écart-types

L'humidité volumique moyenne sur 10 cm d'épaisseur (figure 5) a enregistré souvent une hausse en fonction de la quantité des pluies tombées l'avant-veille et /ou la veille (de relevé de l'humidité) et du temps d'attente avant la pluie suivante. Les moyennes de l'humidité volumique enregistrées dans les banquettes et dans la zone témoin sont significativement différentes en saison des pluies et durant toute la période d'observation ( $P_2 = 0,000$ ,  $P_3 = 0,026$ ). Mais en saison sèche, aucune différence n'a été enregistrée ( $P_1 = 0,452$ ). A partir du mois de juillet 2013, les valeurs de l'humidité des zones en restauration et des témoins sont confondues, c'est-à-dire qu'il n'existait plus de différence significative entre elles ( $P = 0,442$ ). Cela indique qu'à partir de cette date, les banquettes et les demi-lunes ne jouaient plus efficacement leur rôle de captage et d'infiltration. Ainsi, il ressort qu'en l'absence d'entretien régulier les banquettes s'ensablent et se combrent en 3 ou 4 ans et ne peuvent plus lutter contre l'érosion hydrique



**Figure 5 :** Comparaison de l’Humidité volumique du sol entre le site banquettes et son témoin en relation avec les pluies journalières enregistrées l’avant-veille et/ou la veille

Les valeurs de p mentionnées sont les p-value obtenues à l’issue du test de Wilcoxon ( $P_1$ = p-value issue de la comparaison en saison sèche 2012-2013 ;  $P_2$  = p-value issue de la comparaison en saison des pluies 2012 ;  $P_3$  = p-value issue de la comparaison sur toute la période d’observation)

### Impacts de la technique de banquettes sur la survie et la croissance de quatre espèces de Combretaceae

#### Evolution des paramètres dendrométriques

L’évolution des paramètres dendrométriques moyens au cours de 4 périodes après la plantation (12 mois, 18 mois 24 mois et 31 mois) a montré que sur le site de banquettes, la hauteur, le diamètre au collet, la biomasse foliaire sèche et le nombre de rejets ont enregistré des différences hautement significatives entre les 4 espèces (tableau 2 et figures 6, 7 et 8). Les valeurs des écart-types de ces paramètres indiquaient des variations interspécifiques et intraspécifiques fortes. L’espèce *G. senegalensis* a enregistré de façon continue la meilleure performance sur les 4 paramètres dès l’âge de 18 mois. À titre illustratif, la comparaison de la performance de *G. senegalensis* par rapport à celles des autres espèces après 31 mois de plantation indique que : (i) la moyenne en hauteur de *G. senegalensis* était de  $124,53 \pm 56,09$  cm. Elle est secondée par *C. micranthum* avec  $41,33 \pm 17,94$  cm. *C. glutinosum* et *C. nigricans* ont occupé la troisième place avec des hauteurs respectives statistiquement égales ( $40,58 \pm 37,25$  cm et  $28,94 \pm 15,64$  cm) ; (ii) le diamètre moyen de l’axe caulinaire principal a été de  $20,04 \pm 12,01$  mm contre ceux de *C. glutinosum* ( $15,02 \pm 9,70$  mm) et *C. micranthum* ( $12,28 \pm 4,74$  mm) qui sont statistiquement identiques. La troisième place est détenue par *C. nigricans* avec une moyenne de  $9,94 \pm 4,58$  mm ; (iii) en ce qui concerne la biomasse foliaire, le score de *G. senegalensis* était de  $115,46 \pm 225,06$  g de

matière sèche. *C. glutinosum* occupe le second rang avec une moyenne  $25,91 \pm 46,90$  g de matière sèche. *C. micranthum* et *C. nigricans* avec des moyennes statistiquement égales ( $2,73 \pm 4,74$  et  $1,67 \pm 2,92$ ) occupent la dernière position ; (iv) quant à l'aptitude à émettre des rejets de souches, la performance de *G. senegalensis* (3,65 rejets par pied) a été sans commune mesure avec celle des autres espèces qui ont généré chacune moins d'un rejet par souche.

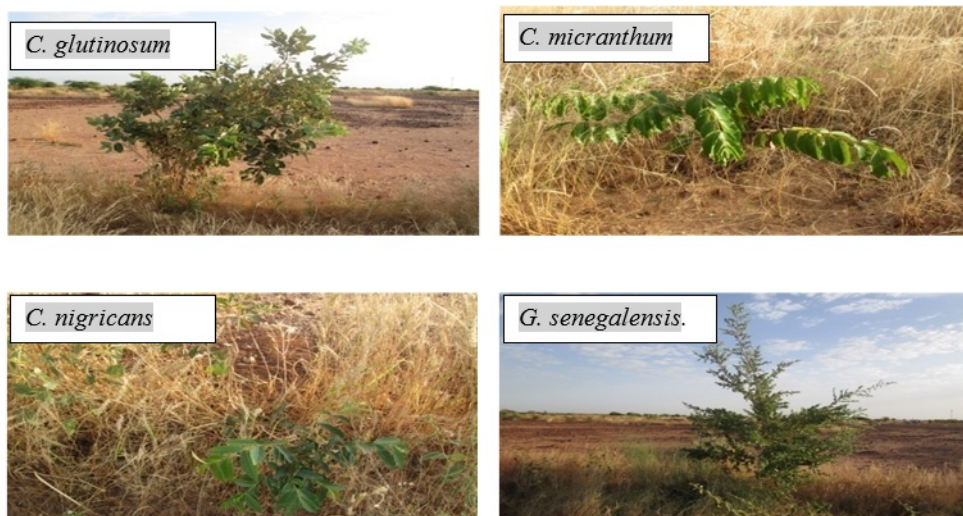
Le taux de survie a été le cinquième paramètre. A la différence des autres paramètres, la survie n'est pas significativement différente entre les 4 espèces durant les 12 à 18 mois après la plantation. A partir de l'âge de 2 ans ce taux a connu une évolution différente si bien qu'à l'âge de 31 mois, *G. senegalensis* (66,5 %) et *C. glutinosum* (60,5 %) ont enregistré les meilleures performances. La deuxième place est occupée par *C. micranthum* avec 52,5 %. L'espèce *C. nigricans* a moins survécu avec un taux de 31,5 %.

**Tableau 2 :** Evolution des paramètres dendrométriques moyens des plants des 4 espèces de Combretaceae sur le site de banquettes

<b>Taux de survie (%)</b>				
<b>Espèces</b>	<b>12 mois</b>	<b>18 mois</b>	<b>24 mois</b>	<b>31 mois</b>
<i>C. glutinosum</i>	66,5 a	66 a	61 a	60,5 a
<i>C. micranthum</i>	59 a	59 a	56,5 a	52,5 b
<i>C. nigricans</i>	44,5 a	42,5 a	37 b	31,5 c
<i>G. senegalensis</i>	69,5 a	67,5 a	67,5 a	66,5 a
P-value	0,2780	0,1976	0,0358	0,0011
<b>Hauteur (cm)</b>				
	<b>12 mois</b>	<b>18 mois</b>	<b>24 mois</b>	<b>31 mois</b>
<i>C. glutinosum</i>	14,27 ± 6,40 c 35,14 ± 11,57	24,02 ± 19,36 c	28,30 ± 20,11 c	40,58 ± 37,25 c
<i>C. micranthum</i>	a	42,05 ± 15,62 b	43,97 ± 16,37 b	41,33 ± 17,94 b
<i>C. nigricans</i>	20,93 ± 8,51 b 33,85 ± 11,65	30,03 ± 14,56 c	30,64 ± 15,66 c	28,94 ± 15,64 c
<i>G. senegalensis</i>	a	80,44 ± 33,28 a	96,41 ± 40,89 a	124,53 ± 56,09 a
P-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,001
<b>Diamètre au collet (mm)</b>				
	<b>12 mois</b>	<b>18 mois</b>	<b>24 mois</b>	<b>31 mois</b>
<i>C. glutinosum</i>	5,95 ± 2,20 b	9,45 ± 5,13 b	10,93 ± 5,73 b	15,02 ± 9,70 b
<i>C. micranthum</i>	6,81 ± 2,01 a	10,06 ± 3,29 ab	11,08 ± 3,54 ab	12,28 ± 4,74 b
<i>C. nigricans</i>	5,69 ± 2,13 b	7,75 ± 3,30 c	8,30 ± 3,46 c	9,94 ± 4,58 c
<i>G. senegalensis</i>	5,72 ± 2,20 b	11,13 ± 5,64 a	13,32 ± 7,15 a	20,04 ± 12,01 a
P-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,001
<b>Biomasse foliaire sèche (g)</b>				
	<b>12 mois</b>	<b>18 mois</b>	<b>24 mois</b>	<b>31 mois</b>
<i>C. glutinosum</i>	10,04 ± 6,93 b	9,26 ± 11,98 b	22,93 ± 26,57 c	25,91 ± 46,90 b
<i>C. micranthum</i>	13,38 ± 8,63 a	3,62 ± 8,37 c	27,87 ± 28,13 b	2,73 ± 4,74 c
<i>C. nigricans</i>	3,93 ± 2,71 c 15,98 ± 11,86	1,76 ± 2,97 d 63,64 ± 92,55 a	6,88 ± 6,09 d	1,67 ± 2,92 c 115,46 ± 225,06
<i>G. senegalensis</i>	a		155,18 ± 205,41 a	a
P-value	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
<b>Nombre de rejets par pied</b>				
	<b>12 mois</b>	<b>18 mois</b>	<b>24 mois</b>	<b>31 mois</b>

<i>C. glutinosum</i>	0,05 ± 0,22 c	0,26 ± 0,92 c	0,25 ± 0,74 bc	0,21 ± 0,72 c
<i>C. micranthum</i>	0,20 ± 0,43 b	0,35 ± 0,59 b	0,30 ± 0,58 b	0,41 ± 1,21 b
<i>C. nigricans</i>	0,10 ± 0,37 c	0,25 ± 0,71 c	0,19 ± 0,59 c	0,14 ± 0,50 c
<i>G. senegalensis</i>	1,26 ± 2,6 a	3,79 ± 4,20 a	3,67 ± 4,10 a	3,65 ± 3,99 a
P-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Les moyennes suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas statistiquement différentes



**Figure 6 :** Plants de 4 espèces de Combretaceae sur le site de banquettes (31 mois) (Photo : Amani A. 2014)

### Evolution des paramètres dendrométriques

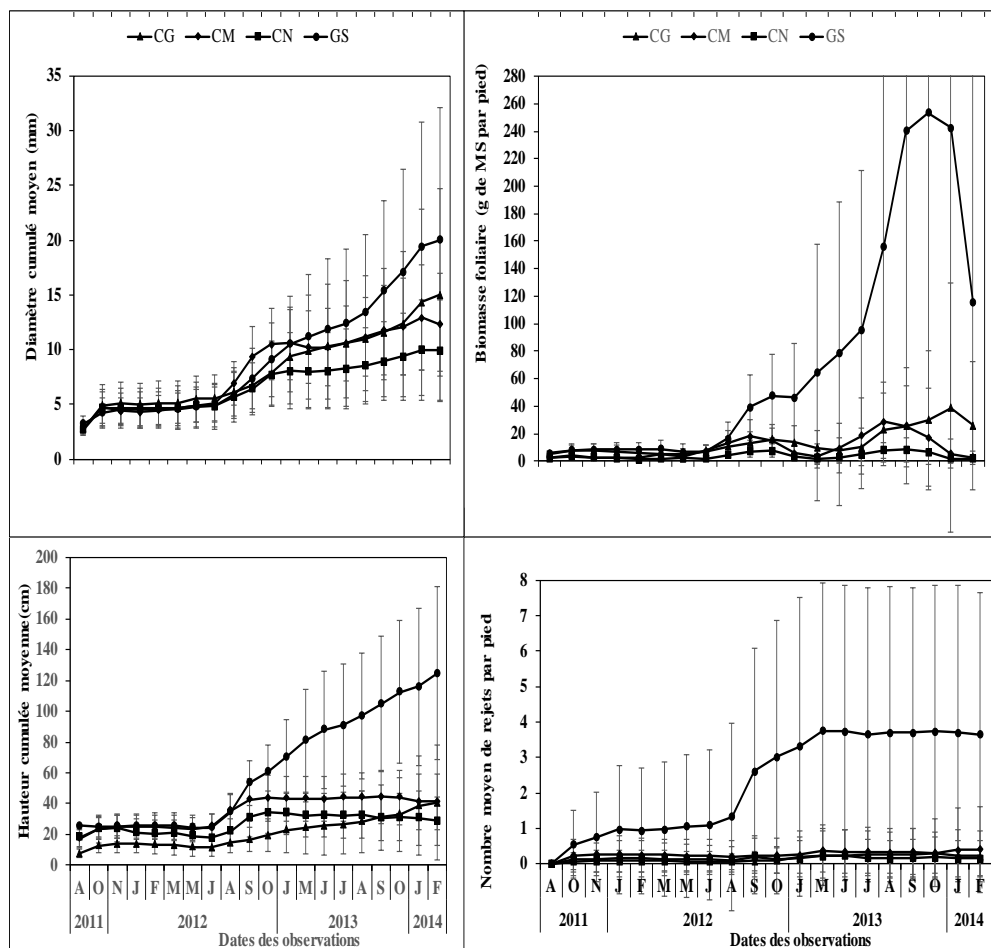
Les 5 paramètres dendrométriques comparés entre les 4 espèces ont montré des différences significatives ( $P < 0,05$ ) (figure 7).

Les courbes de hauteur ont une allure sigmoïde. On note une diminution de hauteur moyenne pendant la période de mars à juin. Cette évolution de hauteur traduit une croissance rythmique.

Les courbes du diamètre au collet révèlent également une forme sigmoïde avec des légères chutes pendant la période de mars à juin. Cette allure traduit également une croissance rythmique du diamètre.

L'évolution de la biomasse foliaire a mis en évidence la phénologie de ces 4 espèces. Des phases de feuillaison et défeuillaison sont observées chez les espèces caducifoliées ou semi caducifoliées *C. micranthum* et *C. nigricans*. La perte des feuilles est partielle chez *C. glutinosum* et *G. senegalensis* qui sont semi sempervirentes ou sempervirentes.

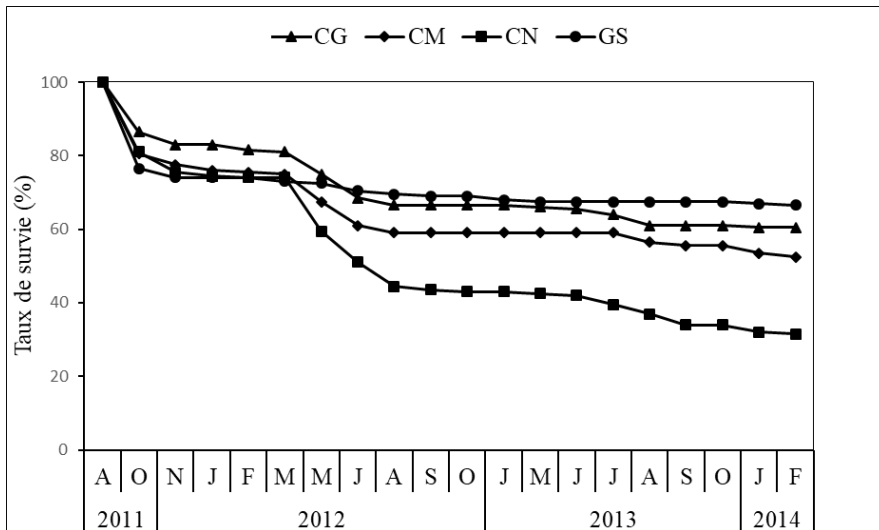
Enfin, les courbes du nombre moyen de rejets ont montré que *G. senegalensis* est dotée d'une forte capacité précoce à émettre des rejets de souche.



**Figure 7 :** Comparaison des paramètres dendrométriques (diamètre cumulé moyen, hauteur cumulée moyenne, biomasse foliaire moyenne et nombre moyen de rejets) des plants des quatre espèces au cours des 31 mois d'élevage  
 MS : matière sèche

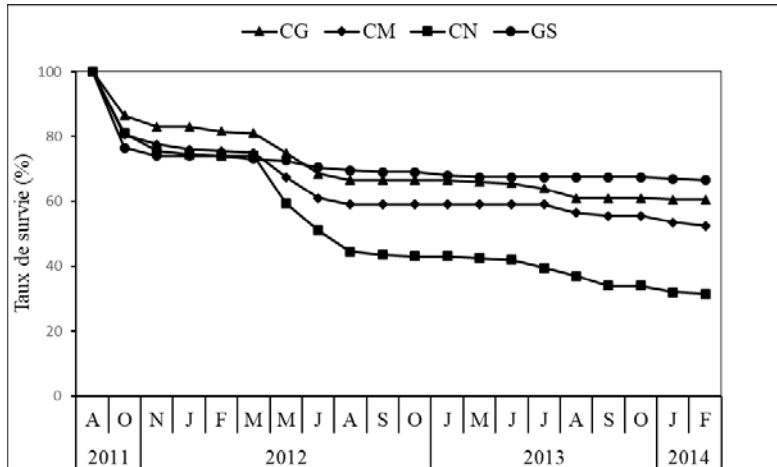
La survie des plants a connu 2 périodes cruciales de mortalité que sont la période octobre novembre 2011 et la période mars à juin 2012 avec un pic en octobre (figure 8). En effet, il a été observé d'octobre à novembre une mortalité de 17 % pour *C. glutinosum* (13 % en octobre), 22,5 % pour *C. micranthum* (19,5 % en octobre), 24 % pour *C. nigricans* (19 % en octobre) et 25,5 % pour *G. senegalensis* dont 23,5 % en octobre. De mars à juin 2012, les

mortalités enregistrées étaient de 12,5 % pour *C. glutinosum*, 14,5 % pour *C. micranthum*, 23,5 % pour *C. nigricans* et 3,5 % pour *G. senegalensis*.



**Figure 7 :** Comparaison des paramètres dendrométriques (diamètre cumulé moyen, hauteur cumulée moyenne, biomasse foliaire moyenne et nombre moyen de rejets) des plants des quatre espèces au cours des 31 mois d'élevage  
 MS : matière sèche

La survie des plants a connu 2 périodes cruciales de mortalité que sont la période octobre novembre 2011 et la période mars à juin 2012 avec un pic en octobre (figure 8). En effet, il a été observé d'octobre à novembre une mortalité de 17 % pour *C. glutinosum* (13 % en octobre), 22,5 % pour *C. micranthum* (19,5 % en octobre), 24 % pour *C. nigricans* (19 % en octobre) et 25,5 % pour *G. senegalensis* dont 23,5 % en octobre. De mars à juin 2012, les mortalités enregistrées étaient de 12,5 % pour *C. glutinosum*, 14,5 % pour *C. micranthum*, 23,5 % pour *C. nigricans* et 3,5 % pour *G. senegalensis*.



**Figure 8 :** Comparaison du taux de survie des plants des quatre espèces au cours des 31 mois d'élevage

CG : *Combretum glutinosum* ; CM : *Combretum micranthum* ; CN : *Combretum nigricans* ; GS : *Guiera senegalensis*

### Accroissements en hauteur et en diamètre des espèces

Les accroissements mensuels et annuels en hauteur et en diamètre des 4 espèces (tableau 3) ont montré des performances variables. Sur les différents types d'accroissements, des différences significatives en faveur de *G. senegalensis* ont été obtenues. A titre illustratif, cette espèce a enregistré une croissance en hauteur plus grande que les trois autres avec un accroissement moyen annuel de  $38,96 \pm 22,13$  cm. Elle est secondée par *C. glutinosum* ( $12 \pm 14,70$  cm) et *C. micranthum* ( $9,45 \pm 7,08$  cm) dont les moyennes étaient statistiquement égales. La croissance annuelle la plus faible a été observée au niveau de *C. nigricans* ( $4,29 \pm 6,17$  cm).

En ce qui concerne la croissance diamétrique, la hiérarchie constatée était la même que celle de l'accroissement moyen annuel en hauteur.

**Tableau 3 :** Récapitulatif comparatif des accroissements courants et moyens des 4 espèces sur le site de banquettes au cours de la période d'observation

Accroissements	Paramètres	Espèces				P valeur
		<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	
ACM	Hauteur (cm)	$1,09 \pm 1,09$ b	$0,98 \pm 2,29$ b	$0,57 \pm 2,03$ b	$3,72 \pm 3,79$ a	0,0065
	Diamètre (mm)	$0,38 \pm 0,31$ b	$0,37 \pm 0,57$ b	$0,26 \pm 0,34$ bc	$0,60 \pm 0,57$ a	0,0307



AMM	Hauteur (cm)	1,08 ± 1,22 b	0,79 ± 0,59 b	0,36 ± 0,51 c	3,25 ± 1,84 a	< 0,0001
	Diamètre (mm)	0,40 ± 0,32 b	0,31 ± 0,16 b	0,24 ± 0,15 c	0,55 ± 0,39 a	< 0,0001
ACA	Hauteur (cm)	14,02 ± 24,25 b	7,6 ± 15,64 b	2,78 ± 15,89 c	39,86 ± 41,34 a	< 0,0001
	Diamètre (mm)	5,11 ± 5,87 b	3,49 ± 2,97 c	2,81 ± 3,09 d	7,28 ± 7,93 a	< 0,0001
AMA	Hauteur (cm)	12 ± 14,70 b	9,45 ± 7,08 b	4,29 ± 6,17 c	38,96 ± 22,13 a	< 0,0001
	Diamètre (mm)	4,83 ± 3,83 b	3,74 ± 1,87 b	2,87 ± 1,81 c	6,64 ± 4,74 a	< 0,0001

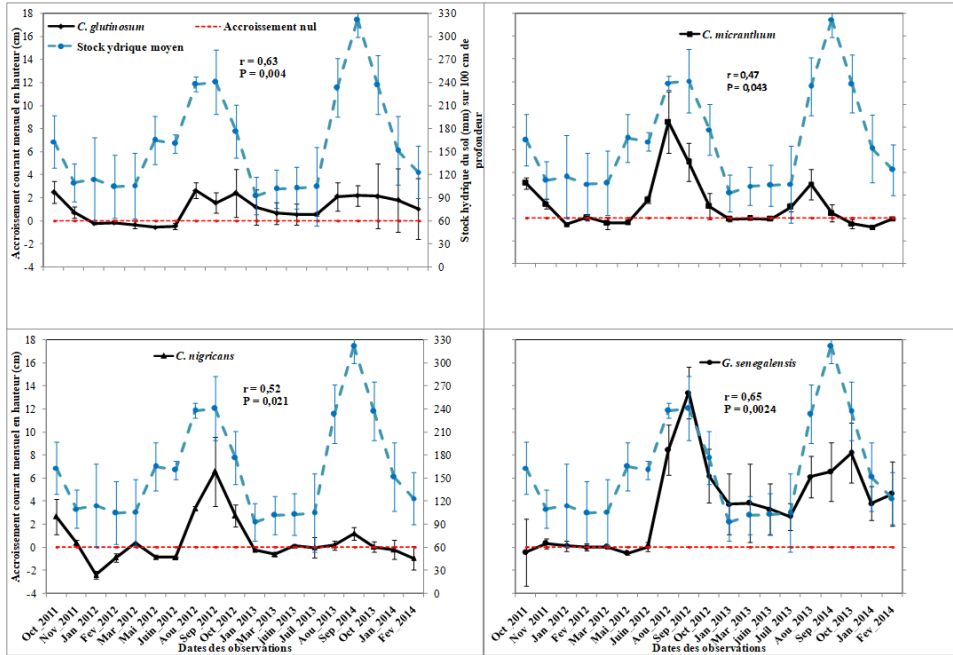
ACM : Accroissement courant mensuel ; AMM : Accroissement moyen mensuel ; ACA : Accroissement courant annuel ; AMA : Accroissement moyen annuel ; Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne ne sont pas statistiquement différentes

### Période de croissance et relation stock hydrique du sol - accroissements courants mensuels sur le site de banquettes

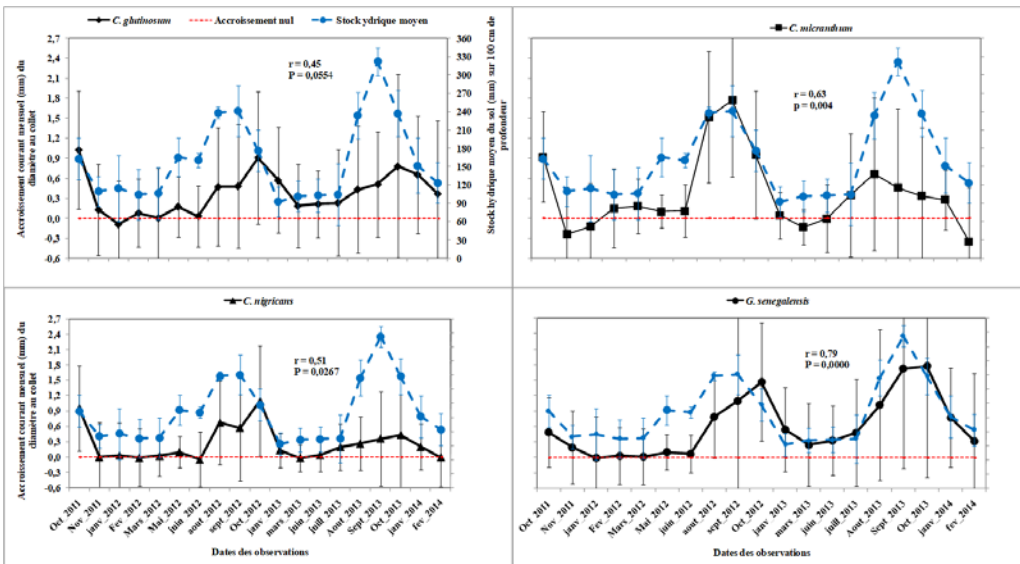
Les accroissements courants mensuels (ACM) en hauteur et en diamètre ont varié en fonction des espèces, des saisons et des années (figures 9 et 10). Les ACM en hauteur et en diamètre sont positifs ou négatifs et sont maximaux pendant la période août à septembre. Le stock hydrique du sol a montré aussi une variation selon les temps.

les ACM en hauteur et en diamètre de *C. glutinosum* et *G. senegalensis* étaient positifs à partir de juin 2012. Le stock hydrique et les ACM en hauteur et en diamètre ont montré une corrélation positive (figures 8 et 9). Cette corrélation était significative au niveau des 4 espèces à l'exception de *C. glutinosum* où la corrélation de l'ACM en diamètre a été non significative ( $r = 0,45$  et  $P = 0,0554$ ).

On constate par ailleurs un synchronisme de l'accroissement courant mensuel en hauteur avec le stock hydrique (figure 9) et également un synchronisme de l'accroissement courant mensuel du diamètre au collet avec le même stock hydrique (figure 10). Ces deux synchronismes traduisent une relation de cause à effet entre le stock hydrique induit par le fonctionnement de la banquette d'une part et la croissance en hauteur et en diamètre de ces espèces d'autre part.



**Figure 9 :** Synchronisme de l'accroissement courant mensuel en hauteur avec le stock hydrique sur le site de banquettes est le coefficient de corrélation de Pearson et les valeurs de p mentionnées sont les p-value de significativité de r.



**Figure 10 :** Synchronisme de l'accroissement courant mensuel du diamètre au collet avec le stock hydrique sur le site de banquettes r est le coefficient de corrélation de Pearson et les valeurs de p mentionnées sont les p-value de significativité de r.

## Discussion

### Evolution de l'humidité du sol sur les sites de restauration

Les valeurs moyennes de l'humidité volumique ont montré des variations en fonction de la profondeur et des périodes de l'année. L'humidité volumique moyenne pendant la saison des pluies a été de l'ordre de 22 % contre 18,50 % pour le témoin soit une différence de 3,5 % traduisant une augmentation très significative de 18,19 % ( $P = 0,004$ ). Durant la période d'expérimentation, l'humidité du sol a été de 17,3 % au niveau des banquettes contre 13,9 % pour le témoin soit une différence de 3,4 % impliquant une augmentation significative de 23,6 % ( $P = 0,031$ ). Ces résultats, qui confirment ceux de Soumana *et al.* (2011) selon lesquels que les banquettes améliorent les conditions hydriques du sol, sont en étroite relation avec la densité apparente mesurée du sol (1,41) laquelle renseigne sur la porosité. En effet, la porosité d'un horizon est une notion essentielle pour tout ce qui concerne la réserve en eau, la circulation des fluides (eau et air) et les possibilités d'enracinement (Yaméogo *et al.*, 2013). La densité apparente de 1,41 (comprise entre 1,33 et 1,46) traduit un bon niveau de porosité de 45 à 50 % (Ministère de la Coopération, 1991).

Cette amélioration du profil hydrique du sol induite par les banquettes ne doit pas faire perdre de vue que le témoin jouit aussi d'une bonne humidité volumique (18,5 %). Ce constat rappelle donc la part de la contribution intrinsèque de l'unité géomorphologique (plateau) dans l'amélioration de l'humidité. En effet, le plateau sans faire l'objet de technique de restauration est toujours apte à permettre l'infiltration et le stockage de l'eau de pluie grâce à une pente faible et un substrat peu profond. L'évaporation est alors la principale voie de perte d'eau.

Trois ans environ après la mise en place des ouvrages, les courbes de l'humidité des sites de restauration et des témoins sont confondues, ce qui implique que les banquettes ont cessé de jouer leur rôle de capter les eaux de ruissellement puis de permettre leur infiltration. Cette observation pose la question de la durabilité de ces ouvrages et montre l'importance d'une mise au point de techniques efficaces de leur entretien.

### Impacts de la technique de banquettes sur la survie et croissance des 4 espèces de Combretaceae

Les taux de survie et de croissance constituent des paramètres essentiels indiquant la réussite d'une opération d'afforestation (Kagambega *et al.*, 2011). En effet, ces paramètres sont des indicateurs déterminants d'adaptation des espèces aux conditions stationnelles. Le taux de survie obtenu a varié en fonction de l'espèce et de son âge. Les mortalités les plus élevées enregistrées sont survenues durant les périodes octobre novembre

2011 et mars à juin 2012. Durant ces deux périodes qui sont sèches, l'humidité moyenne du sol du site était à son niveau le plus bas ( $12,41 \pm 3,68$  %). En outre, la deuxième période est la période la plus chaude au Niger avec un niveau élevé de l'évapotranspiration. Cette observation confirme l'importance de l'humidité du sol dans la survie des plantes comme l'ont souligné Hiernaux et Le Houérou (2006). Les taux de survie des espèces étaient supérieurs à 50 % à l'exception de celui de *C. nigricans* (31,5 %). La faible survie de cette dernière est probablement due à son exigence pluviométrique qui est de l'ordre de 700 à 1000 mm (Von Maydell, 1983) et qui ne semble pas être couverte en dépit du supplément d'eau apporté par les banquettes.

La croissance d'un végétal est définie comme une augmentation de sa taille jusqu'à ce qu'il accède à ses dimensions définitives. C'est donc essentiellement un processus lié à l'accroissement du nombre et de la taille des cellules constituant l'organisme (Bouillard, 1988). Chez les plantes supérieures la croissance en hauteur résulte de l'activité des méristèmes apicaux et la croissance en diamètre résulte, elle, de l'activité des cambiums. Les courbes de hauteurs et de diamètres cumulés étaient sigmoïdes avec des points d'inflexion durant la période de mars à juin. Ce mode de croissance longtemps ignoré chez les végétaux tropicaux est dit rythmique et se révèle plus éloquemment sur les courbes d'accroissements. La croissance rythmique est définie d'après Champagnat *et al.* (1986) comme une alternance de temps d'activité et de temps de repos, assez régulière pour qu'apparaisse une périodicité. La périodicité peut se manifester soit dans l'espace et dans le temps, soit dans l'espace ou dans le temps. Les points d'inflexions correspondent aux accroissements négatifs en hauteurs dus à l'assèchement de la partie apicale des tiges et au rétrécissement de leur diamètre suite à la sécheresse.

Les moyennes cumulées de hauteurs et diamètres, de biomasse foliaire et de nombre de rejets ont connu des différences significatives. Ces différences illustrent les composantes ontogénique et individuelle de la croissance. En effet, la croissance est selon Guédon (2007) déterminée par trois composantes : environnementale (climat, sol), ontogénique (succession des phases) et individuelle (facteurs génétiques, compétition locale entre individus).

Les résultats de la biomasse foliaire ont montré que selon les conditions hydriques du milieu, les espèces *G. senegalensis* et *C. glutinosum* sont semi sempervirentes à sempervirentes alors que *C. micranthum* et *C. nigricans* sont caducifoliées ou semi caducifoliées. Ces résultats confirment ceux de Mahamane (2007) sur le parc National du W du Niger.

En ce qui concerne l'évolution du nombre moyen de rejets de souche, nos résultats ont non seulement confirmé que les 4 espèces se multiplient par rejets

de souches comme l'ont souligné plusieurs auteurs (Bellefontaine *et al.*, 2000, Bellefontaine, 2005) mais, que chez *G. senegalensis*, cette aptitude est précoce par rapport aux 3 autres espèces. En effet, chez cette espèce, le développement des rejets proventifs se manifeste dès l'âge de 12 mois. Les rejets proventifs sont connus comme ceux provenant de bourgeons dormants dont la croissance est stimulée par un stress quelconque (coupe, blessure, feu, etc.) (Faye *et al.*, 2013).

Les résultats relatifs aux accroissements ont montré que dans les banquettes où les conditions hydriques étaient favorables, les accroissements courants mensuels en hauteur et en diamètre sont corrélés positivement et significativement ( $P < 0,05$ ) au stock hydrique ce qui démontre encore l'importance de l'humidité du sol dans la croissance végétale. Il est observé alors un synchronisme entre la variation du stock hydrique et la croissance. Ce type de relation a été observé par Granier *et al.* (1995) sur la croissance en circonférence de chênes sessiles en condition de peuplement fermé. Ces accroissements ont révélé qu'à partir de juin 2012, soit moins d'un an, les espèces *G. senegalensis* et *C. glutinosum* ont développé une croissance positive (accroissement  $> 0$ ) au cours de la période d'expérimentation. Par contre pour *C. micranthum* et *C. nigricans*, la période optimale de croissance s'étend de juin à janvier, c'est-à-dire toute la saison des pluies (juin à septembre) et 4 mois après.

Sur l'ensemble des paramètres étudiés l'espèce *G. senegalensis* a enregistré les meilleurs résultats. Cette performance de cette espèce sur les trois autres a été soulignée depuis le stade pépinière (Amani *et al.*, 2015). Plusieurs raisons expliquent la performance de cette espèce sur site de restauration : cette espèce garde ses feuilles et continue ses activités photosynthétiques pendant toute l'année quand les conditions hydriques sont favorables. Elle devient semi sempervirente quand les conditions hydriques sont moins favorables et reste photosynthétiquement active 4 mois après la saison des pluies. Ces résultats confirment les observations de Seghieri *et al.* (2005) et Kizito *et al.* (2006) qui ont montré que *G. senegalensis* ajuste la surface foliaire de ses feuilles à l'eau disponible ce qui lui permet d'effectuer la photosynthèse activement pendant une partie de la saison sèche. Cet ajustement foliaire est un moyen de régulation des pertes en eau complémentaire de la régulation stomatique et confère à cette espèce une certaine plasticité en réponse à la sécheresse saisonnière (Issoufou, 2012).

Il ressort que les espèces *G. senegalensis*, *C. glutinosum* et *C. micranthum* en raison de leur performance sur banquettes peuvent être recommandées comme espèces de reboisement de plateaux dégradés. Ce résultat confirme celui de Thiombiano *et al.* (2003) en ce qui concerne *C. glutinosum* et *C. micranthum*.

## Conclusion

L'étude conduite en milieu naturel durant 31 mois sur l'unes des techniques de restauration les plus utilisées au Niger a mis en évidence que les banquettes implantées sur plateau érodé améliorent de façon significative l'humidité du sol. L'évolution du stock hydrique induit a montré une corrélation positive et significative avec les accroissements courants mensuels en hauteur et en diamètre au collet de 4 espèces de Combretaceae plantées sur le site de banquettes. De ces 4 espèces, l'espèce *Guiera senegalensis* s'est révélée plus performante sur l'ensemble des paramètres dendrométriques suivis sur le site. Les meilleurs taux de survie et de croissance ont été observés au niveau des espèces *G. senegalensis*, *C. glutinosum* et *C. micranthum*. La période optimale de croissance s'étend de juin à janvier en général mais peut s'étendre sur toute l'année pour *G. senegalensis* et *C. glutinosum* lorsque les conditions hydriques sont très favorables. Ainsi, les espèces *G. senegalensis*, *C. glutinosum* et *C. micranthum* combinées aux techniques de banquettes sont aptes à restaurer les terres de plateaux.

## Remerciement

Les auteurs remercient le projet UNDESERT (EU FP7243906), "Understanding and combating desertification to mitigate its impact on ecosystem services financé par l'Union Européenne pour les moyens financiers ayant permis la production des plants, leur transplantation sur le site de restauration ainsi que les missions de collecte de donnés.

## References:

1. Amani A., Inoussa .M.M., Dan Guimbo I., Mahamane A., Saadou M. & Lykke A.M. (2015). Germination et croissance de quatre espèces de Combretaceae en pépinière. *Tropicultura*, 33, 135-145.
2. Ambouta JMK. (1997). Définition et caractérisation des structures de végétation contractée au Sahel : cas de la brousse tigrée de l'ouest nigérien. *In* Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes Forestiers Contractés Sahéliens, d'Herbès JM, Ambouta JMK, Peltier R Ed. John Libbey Eurotext: Paris; 41-57
3. Aronson J., Floret C., Le Floc'h E., Ovalle C. & Pontanier R. (1995). Aspects scientifiques et technologiques de la restauration et de la réhabilitation des principaux attributs vitaux et fonctions des systèmes écologiques dégradés par les voies d'une démarche sectorielle. *In* L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ? Pontanier R., M'Hiri A., Akrimi N., Aronson J., Floret & Le Floc'h E., Ed., Paris, France, John Libbey Eurotext, 103-112.
4. Bellefontaine R. (2005a). Régénération naturelle à faible coût dans le cadre de l'aménagement forestier en zones tropicales sèches en

- Afrique, *Vertigo* - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 6 Numéro 2 mis en ligne le 01 septembre 2005, consulté le 06 mai 2015. URL : <http://vertigo.revues.org/4335>
5. Bellefontaine R., Edelin C., Ichaou A., Du Laurens D., Monsarrat A. & Loquai C. (2000). Le drageonnage, alternative aux semis et aux plantations de ligneux dans les zones semi-arides : protocole de recherches *Sécheresse*, 11, 221-226.
  6. Boullard B., (1988). Dictionnaire de botanique. Paris, France Ellipses éd.
  7. Faye, E., Diallo, H., Samba, S. A. N., Touré, M. A., Dramé, A., Fall, B., & Bogaert, J. (2013). Importance de la méthode de coupe sur la régénération de Combretaceae du Bassin arachidier sénégalais. *Tropicultura*, 31 (1), 44-52
  8. Hiernaux P. & Le Houérou H.N. (2006). Les parcours du sahel. *Sécheresse*, 17, 51-71
  9. Ichaou A. (2000). Dynamique et productivité des structures forestières contractées des plateaux de l'Ouest nigérien. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse III, Toulouse.
  10. Issoufou H. B. A., (2012). Réponse hydrique à la sécheresse et impact de la coupe chez une espèce semi-sempervirente sahélienne (*Guiera senegalensis* J.F.Gmel). Thèse de Doctorat, Université Montpellier II, Montpellier.
  11. Kagambega F.W., Traore S., Thiombiano A. & Boussim J I. (2011). Impact de trois techniques de restauration des sols sur la survie et la croissance de trois espèces ligneuses sur les « zipellés » au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5, 901-914.
  12. Kizito F., Dragila M., Sène M., Lufafa A., Diedhiou I., Dick RP., Selker J.S., Dossa E., Khouma M., Badiane A. & Ndiaye S. (2006). Seasonal soil water variation and root patterns between two semi-arid shrubs coexisting with Pearl Millet in Senegal, West Africa. *Journal of Arid Environments*, 67, 436-455.
  13. Mahamane, A., Saadou, M., Danjimo, M. B., Saley, K., Yacoubou, B., Diouf, A., & Tanimoune, A. (2009). Biodiversité végétale au Niger : État des connaissances actuelles. *Annale de l'Université de Lomé, Séries Sciences*, 18, 81-93.
  14. Ministère de la Coopération (1991). Mémento de l'Agronome. Collections Techniques rurales en Afrique, Paris, France, 4ème édition.

15. Montagnini F., Cusack D., Petit B. & Kanninen M. (2005). Environmental Services of Native Tree Plantations and Agroforestry Systems in Central America. *Journal of Sustainable Forestry* , 21, 51-67.
16. PAC (Programme d'Actions Communautaires). (2006). Recueil des fiches techniques en gestion des ressources naturelles et de productions agro-sylvopastorales. Niamey, Niger, Ministère du Développement Agricole.
17. R Development Core Team. (2010). A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org>
18. Rondeux J. (1999). La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Gembloux, Belgique, Les Presses agronomiques de Gembloux, 2<sup>ème</sup> édition.
19. Roose E. (2004). Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. *Sécheresse*, 15, 9-18.
20. Roose E., Bellefontaine R. & Visser M. (2011). Six rules for the rapid restoration of degraded lands: Synthesis of 17 case studies in tropical and Mediterranean climates. *Sécheresse*, 22, 86-96.
21. Thiombiano A., Wittig, R. & Guinko S. (2003). Conditions of sexual multiplication in some Combretaceae in Burkina Faso. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*. 58, 361-379.
22. Von Maydell H. J. (1983). Arbres et arbustes du Sahel, leurs caractéristiques et leur utilisation, GTZ Eschborn, Allemagne. 531 p.